

# PATTERN EVALUATION METHOD, ALIGNMENT METHOD, INSPECTION METHOD OF INSPECTION APPARATUS, AND CONTROL METHOD OF SEMICONDUCTOR-MANUFACTURING PROCESS

**Publication number:** JP2003031469 (A)

**Publication date:** 2003-01-31

**Inventor(s):** IKEDA TAKAHIRO +

**Applicant(s):** TOSHIBA CORP +

**Classification:**

- international: G03F1/08; G03F7/20; G06T1/00; G06T7/60; H01L21/027; G03F1/08; G03F7/20; G06T1/00; G06T7/60; H01L21/02; (IPC1-7): G03F1/08; G03F7/20; G06T1/00; G06T7/60; H01L21/027

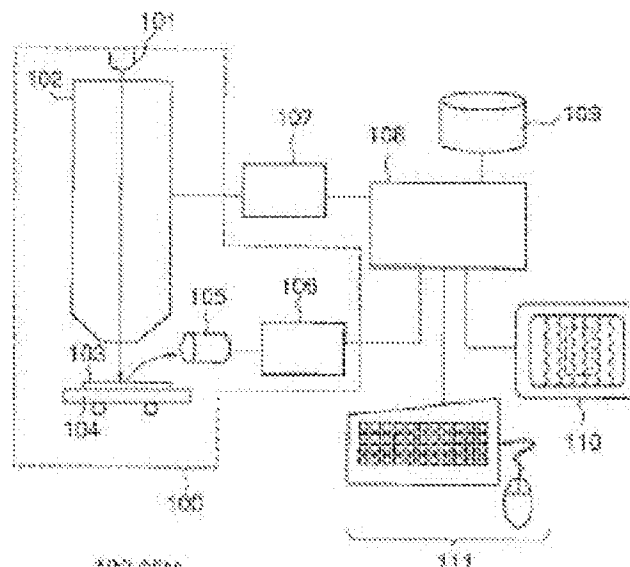
- European:

**Application number:** JP20010214358 20010713

**Priority number(s):** JP20010214358 20010713

## Abstract of JP 2003031469 (A)

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a pattern evaluation method that can specify the cause for distorting a pattern by eliminating the influence of edge roughness. **SOLUTION:** There are a process (S101) for acquiring the image of a pattern formed in a sample; a process (S102) for extracting the contour of the pattern according to the acquired image, and obtaining position coordinates at a plurality of edge points on the extracted contour; processes (S103, S104) for approximating the pattern to an ellipse by the least square method according to the obtained position coordinates at each edge point; and a process (S105) for calculating at least one of center coordinates, the direction of an long axis, a long radius, a short radius, the ratio of the short radius to the short one, area, and peripheral length in the approximated ellipse.



- 100 SEM
- 101 電子顕微鏡
- 102 電子光学系
- 103 半導体ウェハ
- 104 トレー
- 105 二次電子像検出器
- 106 画像処理部
- 107 制御部
- 108 コンピュータ
- 109 記憶部
- 110 画像表示部
- 111 入力部

Data supplied from the **espacenet** database — Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-31469

(P2003-31469A)

(43) 公開日 平成15年1月31日(2003.1.31)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テームド <sup>8</sup> (参考)
H 0 1 L 21/027		C 0 3 F 1/08	S 2 H 0 9 j
G 0 3 F 1/08		7/20	5 2 1 5 B 0 5 7
7/20	5 2 1	G 0 6 T 1/00	3 0 5 A 5 F 0 4 6
G 0 6 T 1/00	3 0 5	7/60	1 5 0 J 5 L 0 9 6
7/60	1 5 0	H 0 1 L 21/30	5 0 2 V

審査請求 未請求 請求項の数20 O L (全 21 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2001-214358(P2001-214358)

(22) 出願日 平成13年7月13日(2001.7.13)

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

東京都港区芝浦一丁目1番1号

(72) 発明者 池田 隆洋

神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株

式会社東芝横浜事業所内

(74) 代理人 100058479

弁理士 鈴木 武彦 (外6名)

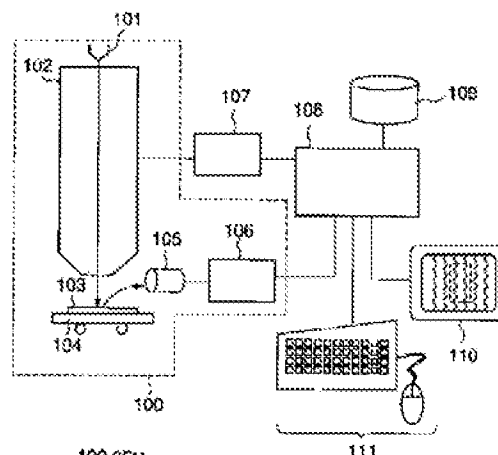
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 パターン評価方法、位置合わせ方法、検査装置の検査方法、半導体製造工程の管理方法

(57) 【要約】

【課題】エッジラフネスの影響を取り除いて、パターンをひずませる原因を特定することが可能になるパターン評価方法を提供すること。

【解決手段】試料に形成されたパターンの画像を取得する工程(S101)と、取得された画像から、前記パターンの輪郭を抽出し、抽出された輪郭上の複数のエッジ点の位置座標をそれぞれ求める工程(S102)と、求められた各エッジ点の位置座標から、最小二乗法によって前記パターンを楕円に近似する工程(S103、S104)と、近似された楕円の中心座標、長軸の方向、長半径、短半径、短半径と長半径との比、面積、周囲長のうち少なくとも一つを算出する工程(S105)。



100 SEM  
101 電子銃  
102 電子光学系  
103 半導体ウエハ  
104 トレー  
105 二次電子信号検出部  
106 信号増幅部  
107 制御部  
108 コンピュータ  
109 記憶部  
110 画像表示部  
111 入力部

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】試料に形成されたパターンの画像を取得する工程と、

取得された画像から、前記パターンの輪郭を抽出し、抽出された輪郭上の複数のエッジ点の位置座標をそれぞれ求める工程と、

求められた各エッジ点の位置座標から、最小二乗法によって前記パターンを楕円に近似する工程と、

近似された楕円の中心座標、長軸の方向、長半径、短半径、短半径と長半径との比、面積、周囲長のうち少なくとも一つを算出する工程とを含むことを特徴とするパターン評価方法。

【請求項2】前記パターンの楕円への近似は、

求められた全エッジ点の重心位置座標を求める工程と、該各エッジ点と該重心位置座標から規格化された距離が1に近くなるように規格化定数を算出する工程と、算出された規格化定数から楕円の長半径及び短半径を少なくとも算出する工程とを含むことを特徴とする請求項1に記載のパターン評価方法。

【請求項3】前記パターンを楕円に近似した後、

各エッジ点から該楕円におろした各垂線の長さをそれぞれ算出する工程と、

求められた垂線の長さの二乗和を算出する工程とが行われることを特徴とする、請求項1に記載のパターン評価方法。

【請求項4】前記垂線の長さの二乗和が最小となるように近似楕円の重心・長短軸および主軸方向を調整することを特徴とする請求項3に記載のパターン評価方法。

【請求項5】試料に形成されたパターンの画像を取得する工程と、

取得された画像から、前記パターンの輪郭を抽出し、抽出された輪郭上の複数のエッジ点の位置座標をそれぞれ求める工程と、

求められた各エッジ点の位置座標からフーリエ級数を算出する工程と、

算出されたフーリエ級数を用いて、前記パターンを近似する近似輪郭線を生成する工程とを含むことを特徴とするパターン評価方法。

【請求項6】前記近似輪郭線から、該近似輪郭線に含まれる少なくとも一対の点間の距離、該一対の点間の方位と、近似輪郭線に囲まれる領域の面積と、近似輪郭線の長さ、近似輪郭線の主軸方向と、該主軸と該近似輪郭線との交点間の長さ、近似輪郭線と各エッジ点との残差平方和と、近似輪郭線に囲まれる領域の面積と全エッジ点で囲まれる領域の面積の差分のうち少なくとも一つを算出することを特徴とする請求項5に記載のパターン評価方法。

【請求項7】前記近似輪郭線は、フーリエ級数の2次より低次の項を用いて合成されることを特徴とする請求項5に記載のパターン評価方法。

【請求項8】前記近似輪郭線は、フーリエ級数の5次より低次の項を用いて合成されることを特徴とする請求項5に記載のパターン評価方法。

【請求項9】前記近似輪郭線は、フーリエ級数の偶数次の項のみを用いて合成されることを特徴とする請求項5に記載のパターン評価方法。

【請求項10】2種類以上のパターンの輪郭からそれぞれフーリエ級数及び近似輪郭線を求め、求められたフーリエ級数から少なくとも二つ以上の係数を選択し、選択された係数が空間座標となるように定義された空間における、二つ以上の近似輪郭線に対応するフーリエ係数の間の距離を算出する事を特徴とする請求項5に記載のパターン評価方法。

【請求項11】前記パターンに対応する原パターンが形成された原板から、該原パターンの画像を取得する工程と、

取得された原パターン画像から、前記原パターンの輪郭を抽出し、抽出された輪郭上の複数のエッジ点の位置座標をそれぞれ求める工程と、

求められたエッジ点の位置座標からフーリエ級数を算出する工程とを更に含み、

前記パターンから求められたフーリエ級数と前記原パターンから求められたフーリエ級数との差を次数毎に算出する事を特徴とする請求項5に記載のパターン評価方法。

【請求項12】前記パターンに対応する原パターンが形成された原板から、該原パターンの画像を取得する工程と、

取得された原パターン画像から、前記原パターンの輪郭を抽出する工程と、

前記原パターンから抽出された輪郭に対して写像変換を施して新たな基準輪郭を算出する工程と、

前記基準輪郭からフーリエ級数を算出する工程とを更に含み、

前記パターンから求められたフーリエ級数と前記基準輪郭から求められたフーリエ級数との差を次数毎に算出する事を特徴とする請求項5に記載のパターン評価方法。

【請求項13】前記基準輪郭は、前記原パターンから抽出された輪郭に基づいて原パターンの転写シミュレーションを行なって算出される事を特徴とする請求項12に記載のパターン評価方法。

【請求項14】前記基準輪郭は、前記原板を用いて取得された転写システムの潜像データから算出される事を特徴とする請求項12に記載のパターン評価方法。

【請求項15】パターンに対応する原パターンが形成された原板の設計データから得られる該原パターンの輪郭、前記原パターンの画像から抽出された該原パターンの輪郭、前記原パターンから抽出された輪郭に基づいて原パターンの転写シミュレーションから算出された輪郭、或いは前記原板を用いて取得された転写システムの

画像データから算出された輪郭を取得する工程と、  
取得された輪郭からフーリエ級数の一部とパターンの代表位置を算出する工程と、

求められたフーリエ級数から輪郭線を算出する工程と、  
前記原パターンが転写された転写パターンを具備する試料を画像取得手段を具備する検査装置に搬入する工程と、

前記輪郭線と前記画像取得手段で得られた該転写パターンの画像とを比較して、前記試料の位置合わせを行う工程とを含む事の特徴とする位置合わせ方法。

【請求項16】基準パターンを具備する試料を画像取得手段を具備する検査装置に搬入する工程と、  
前記画像取得手段で前記基準パターンの画像を取得する工程と、

取得された画像から、前記基準パターンの輪郭を抽出し、抽出された輪郭上の複数のエッジ点の位置座標をそれぞれ求める工程と、

求められた各エッジ点の位置座標からフーリエ級数を算出する工程と、

算出されたフーリエ級数に基づいて前記検査装置の診断を行なうことを特徴とする検査装置の検査方法。

【請求項17】露光装置により試料上に転写されたパターンの画像を取得する工程と、

取得された画像から、前記基準パターンの輪郭を抽出し、抽出された輪郭上の複数のエッジ点の位置座標をそれぞれ求める工程と、

求められた各エッジ点の位置座標からフーリエ級数を算出する工程と、

算出されたフーリエ級数に基づいて、フーリエ級数の次数に対応付けられた半導体露光装置の調整パラメータに対する補正値を算出する手段と、

算出された補正値に基づいて前記露光装置の補正を行う工程とを含むことを特徴とする半導体製造工程の管理方法。

【請求項18】露光装置により試料上に転写されたパターンの画像を取得する工程と、

取得された画像から、前記基準パターンの輪郭を抽出し、抽出された輪郭上の複数のエッジ点の位置座標をそれぞれ求める工程と、

求められた各エッジ点の位置座標からフーリエ級数を算出する工程と、

前記フーリエ級数を定められた時間間隔で算出し、その推移から前記露光装置の診断を行う工程とを含むことを特徴とする半導体製造工程の管理方法。

【請求項19】コンピュータに、  
試料に形成されたパターンの画像データから、前記パターンの輪郭を抽出し、抽出された輪郭上の複数のエッジ点の位置座標をそれぞれ求める機能と、

求められた各エッジ点の位置座標から、最小二乗法によって前記パターンを楕円に近似する機能と、

近似された楕円の中心座標、長軸の方向、長半径、短半径、短半径と長半径との比、面積、周囲長のうち少なくとも一つを算出する機能とを実現させるためのプログラム。

【請求項20】コンピュータに、  
試料に形成されたパターンの画像データから、前記パターンの輪郭を抽出し、抽出された輪郭上の複数のエッジ点の位置座標をそれぞれ求める機能と、

求められた各エッジ点の位置座標からフーリエ級数を算出する機能と、

算出されたフーリエ級数を用いて、前記パターンを近似する近似輪郭線を生成する機能とを実現させるためのプログラム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、微細なパターンに対するパターン評価方法、位置合わせ方法、検査装置の検査方法、半導体製造工程の管理方法に関する。

【0002】

【従来の技術】半導体製造工程におけるフォトリソグラフィプロセスは、フォトマスク上のパターンをウェハ上に転写するプロセスであるが、高集積度のデバイスを開発するためには光露光装置の解像力の限界に近いごく微小なパターンを形成せねばならない。このような場合に露光装置のレンズに収差が存在したり光軸に傾きが生じていたりすると、フォトマスクパターンに忠実なパターンをウェハ上に形成することができない場合がある。

【0003】たとえば非点収差の存在は露光フィールド内の方向によって焦点位置に差を生ぜしめるため、露光時の焦点位置が変動するとパターンを異方的に歪ませ、その結果パターン形成に関するプロセス余裕度を低下せしめる。このような収差に起因したパターンの変形を定量化する方法が、特開平6-317414号公報に開示されている。

【0004】この技術では、画像の濃淡値データを三値化処理して各々のパターンの低部に相当する領域を抽出し、その後面積をおよび周囲長をデジタル幾何学の方法によって算出する。また面積と周囲長の値を比較することによってパターンの径あるいは長径・短径を逆算する方法である。

【0005】しかしながら実際にウェハ上に加工されたホールパターンのエッジはプロセスやレジスト材料に由来するエッジラフネスが存在する。このためパターンエッジは滑らかな円形または楕円形にならない場合が多い。そのような形状に対してこの方法を用いて求めた諸量には、収差に起因する形状の歪みによる成分以外にエッジラフネスに起因する理想的な輪郭形状からのずれの寄与が含まれてしまうために、パターンを歪ませる原因を特定することが困難であった。

【0006】ところで、ホールパターンを単純な楕円で

近似した場合、さらに高次の対称性の崩れとして現れる高次収差の効果がモデル化されていない。そのため、低次の収差の影響しか定量化できない。

【0007】高次収差の効果をモデル化は、たとえば対称性の次数に応じて輪郭データを以下のような斉次型の多項式にフィットすることで可能となる。

【0008】

【数1】

$$\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n a_{ij} x^i y^j = 0 \quad \dots (18)$$

【0009】このようにしてある次数 $m$ 、 $n$ に対して得られた係数から、その曲線の特徴量を算出することができる。たとえば $m=n=2$ ならば式(18)は楕円の方方程式、 $m=n=3$ ならば3回の回転対称性を有する図形、などとなる。

【0010】しかしながらこの方法においては、式(18)へのデータ点列の当てはめが必要であり、問題にする収差に応じて計算式を選択する必要があった。

【0011】また、式(18)への当てはめは一般にノイズに振られやすく、SEMで取得した画像に対してこの方法を用いる場合には特にショットノイズの影響を大きく受け、計測結果の誤差が大きくなることが問題であった。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】上述したように、プロセスやレジスト材料に由来するエッジラフネスが存在するため、パターンを歪ませる原因を特定することが困難であるという問題点があった。

【0013】また、高次収差の効果をモデル化するために、ショットノイズの影響を大きく受け、計測結果の誤差が大きくなることが問題であった。

【0014】本発明の目的は、エッジラフネスの影響を取り除いて、パターンを歪ませる原因を特定することが可能になるパターン評価方法を提供することにある。

【0015】本発明の別の目的は、ショットノイズの影響を取り除いて、高次のパターンの対称性の崩れを容易に定量化することができるパターン評価方法を提供することにある。

【0016】

【課題を解決するための手段】【構成】本発明は、上記目的を達成するために以下のように構成されている。

【0017】(1) 本発明に係るパターン評価方法は、試料に形成されたパターンの画像を取得する工程と、取得された画像から、前記パターンの輪郭を抽出し、抽出された輪郭上の複数のエッジ点の位置座標をそれぞれ求める工程と、求められた各エッジ点の位置座標から、最小二乗法によって前記パターンを楕円に近似する工程と、近似された楕円の中心座標、長軸の方向、長半径、短半径、短半径と長半径との比、面積、周囲長の

うち少なくとも一つを算出する工程とを含むことを特徴とする。

【0018】(2) 本発明に係るパターン評価方法は、試料に形成されたパターンの画像を取得する工程と、取得された画像から、前記パターンの輪郭を抽出し、抽出された輪郭上の複数のエッジ点の位置座標をそれぞれ求める工程と、求められた各エッジ点の位置座標からフーリエ級数を算出する工程と、算出されたフーリエ級数を用いて、前記パターンを近似する近似輪郭線を生成する工程とを含むことを特徴とする。

【0019】【作用】本発明は、上記構成によって以下の作用・効果を有する。

【0020】取得された画像から前記パターンのエッジ点の位置座標を複数抽出し、各エッジ点の位置座標から、最小二乗法によって前記エッジ点列を楕円に近似することによって、近似された楕円の中心座標、長軸の方向、長半径、短半径、短半径と長半径との比、面積、及び周囲長を算出することができる。その結果、パターンが、完全に水平または垂直方向に配置していない場合、やパターンのエッジにラフネスがある場合でも、正確なホールパターンの歪みの定量が可能となり、評価コストが減少する。

【0021】取得された画像から前記パターンのエッジ点の位置座標を複数抽出し、各エッジ点の位置座標からフーリエ級数を算出し、算出されたフーリエ級数を用いて、前記パターンを近似する近似輪郭線を生成することによって、従来定量化が困難であったパターンの対称性の崩れを容易に定量化できるようになる。

【0022】

【発明の実施の形態】本発明の実施の形態を以下に図面を参照して説明する。もちろんこれら実施形態は本発明の適用される範囲を限定するものではない。

【0023】(第1の実施形態) 図1は、本発明の第1の実施形態に係るパターン評価装置の概略構成を示すブロック図である。図2には、本発明の第1の実施形態に係るパターン評価方法を示すフローチャートである。

【0024】図1に示すパターン評価装置の構成は、図2に示すフローチャートを参照しつつ評価方法を説明して説明する。

【0025】(ステップS101) 先ず、フォトリソに評価対象となるホールパターンが形成された半導体ウェハ103をSEM100内のトレイ(XYステージ)104上に設置し、位置決めを行う。電子銃101から放出された電子ビームは、電子光学系102により、半導体ウェハ103の評価対象のパターンが含まれる領域を走査する。電子ビームの走査は、制御部107の制御によって行われ、走査信号がコンピュータ108に送られる。ウェハ103から放出された二次電子は二次電子信号検出部105で拾われ、検出された二次電子

信号を信号増幅部106で増幅される。増幅された二次電信号はコンピュータ108に送られる。コンピュータ108は、二次電子信号及び走査信号から画像データを生成し、画像データ及び二次電子信号を記憶部109に格納すると共に、画像表示部110に表示する。なお、図1において、符号111は、キーボードやマウス等の入力部である。

【0026】以下の作業は、記憶部109に格納されたプログラムをコンピュータ108が実行することにより行われる。

【0027】(ステップS102) 次いで、取得された画像データからバターンのエッジを探索して複数のエッ

$$\sum_{i=1}^N \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^N (Ax_i^2 + 2Bx_iy_i + Cy_i^2 + Dx_i + Ey_i + F)^2 \quad \cdots(1)$$

【0030】(ステップS103) ルベンバーグ=マルカート法により各係数を求めるに当たり、最初に係数に対して  $AC-B^2 > 0$  なる拘束条件を与えておき、各係数の探索範囲を限定すると共に、前記拘束条件を満たすように各係数の初期値を設定する。

【0031】(ステップS104) 次いで、ルベンバーグ=マルカート法による最小二乗法の解法を用いて、

$$Ax_i^2 + 2Bx_iy_i + Cy_i^2 + Dx_i + Ey_i + F = 0 \quad \cdots(2)$$

【0033】そして、図3(b)に示すように、この方程式であらわされる楕円122をエッジ点列121に重ね合わせて、画像表示部110に表示する。

【0034】(ステップS105) さらに式(2)の係数を式(3)に示す楕円の標準形の  $x$ 、 $y$  の項べきの順に並び、係数を比較することによって、楕円の特徴とな

$$\frac{\{(x+x_0)\cos\theta - (y+y_0)\sin\theta\}^2}{a^2} + \frac{\{(x+x_0)\cos\theta + (y+y_0)\sin\theta\}^2}{b^2} = 1 \quad \cdots(3)$$

【0036】(ステップS106) また、方向が主軸方向と同じで大きさが  $(1-b/a)$  であるベクトルを歪みベクトルと定義して、これらの値を画像表示部上に出力量する。そして、図3(c)に示すように、歪みベクトルを表す矢印123および楕円の中心位置124を画像表示部に表示する(図3(c))。さらに式(4)、(5)、(6)を用いて近似楕円の面積と周長を算出し、画像表示部に出力量する。

【0037】

【数5】

座標点  $P_i(x_i, y_i)$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ;  $n$  はエッジ点の総数) を得る。なお、以下では複数のエッジ座標からなる群をエッジ点列と記す。そして、図3(a)に示すように、抽出されたエッジ点列121を画像表示部110に表示する。

【0028】次いで、このエッジ点列データから、以下の式(1)で定義される残差平方和が最小となるようにルベンバーグ=マルカート法による最小二乗法の解法を用いて各係数  $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$ 、 $E$ 、 $F$  を求める。

【0029】

【数2】

式(1)から算出される残差平方和が誤差の範囲以上内で一定とみなされるまで各係数  $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$ 、 $E$ 、 $F$  の初期値を変えながら各係数の算出を試行し、その結果から各係数を決定する。最後にこれらの係数によって与えられる楕円の方程式の一般形である式(2)を得る。

【0032】

【数3】

る中心座標  $P_0(x_0, y_0)$ 、長半径  $a$ 、短半径  $b$ 、主軸の方位角  $\theta$  を算出し、その結果を画像表示部に表示する。

【0035】

【数4】

$$L = 4a \int_0^{\pi/2} \sqrt{1 - e^2 \cos^2 t} dt \quad \cdots(4)$$

$$e \approx 2\pi a \left[ 1 - \frac{1}{4}e^2 - \frac{3}{64}e^4 - \frac{5}{2048}e^6 \right] \quad \cdots(5)$$

$$e = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}} \quad \cdots(6)$$

【0038】以上説明したように、取得された画像から前記バターンのエッジ点の位置座標を複数抽出し、各エッジ点の位置座標から、最小二乗法によって前記エッジ点列を楕円に近似することによって、近似された楕円の中心座標、長軸の方向、長半径、短半径、短半径と長半径との比、面積、及び周長を算出することができる。その結果、バターンが、完全に水平または垂直方向に配

置いていない場合、やパターンのエッジにラフネスがある場合でも、正確なホールパターンの歪みの定量が可能となり、評価コストが減少する。

【0039】なお、本実施形態においてはレジストパターンを用いたが、これはエッチング後、あるいは任意の工程において観察されたパターンの画像に対しても適用することが可能である。エッジ点列の抽出としては、画像処理によって二値、或いは三値化された結果からエッジ位置を決定する方法がある。

【0040】本実施形態においては式(2)の係数を求める非線形最小自乗法の解法としてルベンバーグ＝マルカート法を用いたが、本発明の適用範囲はこれに限定されることはない。たとえば6つのパラメータの組み合わせを逐次あるいはランダムに探索する方法をとっても良いし、最適な組み合わせの探索アルゴリズムとしてシンプレックス法や準ニュートン法、ダビドン＝フレッチャー＝パウエル法、プロイデン＝フレッチャー＝ゴールドファルブ＝シャノ法、カークパトリックのアニーリング法などから適時選択することが可能である。

【0041】(第2の実施形態) 図4は、本発明の第2の実施形態に係るパターン評価方法を示すフローチャートである。なお、本実施形態で用いるパターン評価装置は、第1の実施形態の図1に示したパターン評価装置と同様なので、その図示及び説明を省略する。

【0042】(ステップS201、S202) 先ず、第

$$m = - \frac{(-B \pm \sqrt{B^2 + 4A})}{2A} \quad \dots (8)$$

ここに

$$A = \sum_{i=1}^N x_i \sum_{i=1}^N y_i - N \sum_{i=1}^N x_i y_i \quad \dots (9)$$

$$B = \left\{ \left( \sum_{i=1}^N x_i \right)^2 - \sum_{i=1}^N x_i^2 \right\} - \left\{ \left( \sum_{i=1}^N y_i \right)^2 - \sum_{i=1}^N y_i^2 \right\} \quad \dots (10)$$

【0047】このようにして求められた直線の傾き $m$ から主軸の方位角 $\theta$ を式(11)で求める。そして、図5(b)に示すように、画像表示部110に主軸225を表示する。

【0048】

【数8】

$$\theta = \tan^{-1} m \quad \dots (11)$$

【0049】(ステップS205) 次いで、エッジ点列全体を以下の変換式によって座標変換する。

【0050】

【数9】

$$\begin{pmatrix} x'_i \\ y'_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_i - x_0 \\ y_i - y_0 \end{pmatrix} \quad \dots (12)$$

1の実施形態と同様に、パターンのSBM画像を取得する。そして、取得された画像から、評価対象となるフォトレジストパターンのエッジの座標 $P_i(x_i, y_i)$

( $i=1, 2, \dots, n$ ;  $n$ はエッジ点の総数)を取得する。以下では、全エッジ点の群をエッジ点列とする。

【0043】(ステップS203) 次いで、エッジ点列 $P_i(x_i, y_i)$ に対して以下の式(7)により重心 $P_0(x_0, y_0)$ を算出する。そして、図5(a)に示すように、その重心位置 $P_0$ を画像表示部110にエッジ点列221とともに表示する。

【0044】

【数6】

$$x_0 = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}, y_0 = \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{N} \quad \dots (7)$$

【0045】(ステップS204) 次いで、重心位置 $P_0$ をとり、各エッジ点 $P_i$ からおろした垂線の長さの自乗和が最小となるような直線の方程式を最小自乗法で求める。具体的には直線の傾き $m$ を以下の式(8)のうちの掲記の自乗和を最小とする値として求める。

【0046】

【数7】

【0051】(ステップS206) 次いで、主軸が $x'$ 軸に平行でその中心が $x', y'$ 座標の原点に一致する楕円すなわち

【数10】

$$\frac{x'^2}{a^2} + \frac{y'^2}{b^2} = 1 \quad \dots (13)$$

に点列全体を当てはめる。この際の最良の当てはめの条件を

【数11】

$$\sum_{i=1}^N e_i^2 = \sum_{i=1}^N \left( \frac{x'^2}{a^2} + \frac{y'^2}{b^2} - 1 \right)^2 = \text{Min.} \quad \dots (14)$$

とした、

【0052】

【数12】

$$\frac{x_i^2}{a^2} + \frac{y_i^2}{b^2}$$

は楕円の中心位置からエッジ点列への距離を規格化定数  $a$ 、 $b$  によって規格化した距離とみなせるので、この条件による楕円への当てはめは、重心からの距離が1に近くなるように規格化定数を定める計算と等価である。

$$a^2 = \frac{\sum_{i=1}^N x_i^4 + \sum_{i=1}^N y_i^4 - \left( \sum_{i=1}^N x_i^2 + \sum_{i=1}^N y_i^2 \right)^2}{\sum_{i=1}^N x_i^2 + \sum_{i=1}^N y_i^4 - \sum_{i=1}^N x_i^2 y_i^2 + \sum_{i=1}^N y_i^2} \quad \dots (15)$$

$$b^2 = \frac{\sum_{i=1}^N x_i^4 + \sum_{i=1}^N y_i^4 - \left( \sum_{i=1}^N x_i^2 + \sum_{i=1}^N y_i^2 \right)^2}{\sum_{i=1}^N x_i^4 + \sum_{i=1}^N y_i^2 - \sum_{i=1}^N x_i^2 y_i^2 + \sum_{i=1}^N y_i^2} \quad \dots (16)$$

【0055】(ステップS207) 次いで、楕円の特徴となる中心座標  $P_0(x_0, y_0)$ 、長半径  $a$  と短半径  $b$  との比、主軸の方位角  $\theta$  を算出し、その結果を画像表示部110上に表示する。また近似曲線212を(13)の逆変換によってもとの  $x, y$  座標系の楕円に変換する。そして、図5(c)に示すように、元の画像とともに画像表示部に表示する(図4(c))。算出結果を第1の実施形態の方法で算出した結果と比較したが、両結果は十分な一致が見られた。

【0056】本実施形態によれば、第1の実施形態と同様に、パターンが、完全に水平または垂直方向に配置していない場合、やパターンのエッジにラフネスがある場合でも、正確なホールパターンの歪みの定量化が可能となり、評価コストが減少する。

【0057】なお本実施形態においてはレジストパターンを用いたが、これもエッチング後、あるいは任意の工程において観察されたパターンの画像に対しても適用することが可能である。

【0058】(第3の実施形態) 本実施形態では、エッジ点列に含まれる各エッジ点から近似楕円に向かっておろした垂線の長さ(残差)を求めて、(長さ)<sup>2</sup>の単位を持つ正確な残差を求める方法について説明する。

【0059】図6は、本発明の第3の実施形態に係るパターン評価方法を示すフローチャートである。なお、以下に示す評価方法は、記憶部109にソフトウェア(プログラム)として記録され、コンピュータで各工程が実施される。

【0060】(ステップS301) まず、第2の実施形態で説明したパターン評価方法によってエッジ点列を近似する楕円の方程式を算出する。

【0061】(ステップS302) 次いでその結果が

【0053】最良の当てはめの条件を式(14)で与えたことによって、第1の実施形態のような非線形最小乗法の解法によることなく  $a$ 、 $b$  の最適解を以下の式(15)、(16)によって得ることができるようになる。

【0054】

【数13】

ら、楕円の焦点位置  $E_1$ 、 $E_2$  の位置を算出する(図7(a))。

【0062】(ステップS303) 次いで、近似楕円上の動点  $S_1$  を決め、 $E_1$  と  $S_1$ 、 $E_2$  と  $S_1$  をとおる直線  $l_1$ 、 $l_2$  の方程式を求める。

【0063】(ステップS304) 次いで、直線  $l_1$ 、 $l_2$  の傾きの値と動点  $S_1$  の座標とから、 $\angle E_1 S_1 E_2$  の二等分線  $l_3$  の方程式を求める。この直線  $l_3$  は、楕円の焦点の性質によって、動点  $S_1$  をとおる楕円の法線となる(図7(b))。

【0064】(ステップS305) そして、直線  $l_3$  の上にエッジ点列に属する点  $P_1$  があれば、距離  $P_1 S_1$  を算出する。この距離が近似楕円からの残差を与える(図7(c))。

【0065】(ステップS306) 上記ステップS302～S305の手続きを、動点  $S_1$  の位置を楕円周上で適当な間隔で移動させていくことによって、エッジ点列に含まれる全エッジ点の残差データを取得することができる。

【0066】(ステップS307) 最後に該残差データを用いて残差の平方和、標準偏差、平均偏差、楕円の内側と外側での残差の最大値を算出する。これらはパターンの楕円近似からのずれの量的表現であるから、ホールパターンのラフネスをあらわす量として画像表示部110に出力する。

【0067】また、近似楕円の焦点位置を  $E_1$ 、 $E_2$  の周りで変動させながら掲記の残差を算出し、それが最小となるように焦点位置を調整する。この手続きによって、楕円近似の精度が更に向上する。

【0068】上記の実施形態に適時示したように、評価装置の画像表示部に、処理結果を出力することによ



て、さまざまなパターンの混在の有様が評価者にはグラフィカルに理解できるために、計測結果やパターン形状がどの方向にどの程度歪んでいるかを極めて容易に確認することが可能である。

【0069】(第4の実施形態) 図8は、本発明の第4の実施形態に係るパターン評価方法を示すフローチャートである。なお、本実施形態で用いるパターン評価装置は、第1の実施形態の図1に示したパターン評価装置と同様なので、その図示及び説明を省略する。

【0070】(ステップS401) 先ず、フォトレジストに評価対象となるホールパターンが形成された半導体ウェハをSEMに搬入し、位置決めを行なって計測対象のパターンが含まれる領域の二次電子信号を取得し、それを画像データとして記憶装置に格納するとともに画像表示部110に表示する。

【0071】(ステップS402) 次いで、取得された画像データに対してパターンエッジを探索してエッジ座標点列 $P_i(x_i, y_i)$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ;  $n$ はエッジ点の総数)を得る。また、図9(a)に示すように、得られたエッジ点列421を画像表示部110に表示する。

【0072】(ステップS403) 次いで、このエッジ点列データを以下の式(17)で定義されるフーリエ級数列を離散的フーリエ変換の計算によって求める。この際の数値計算は、C. T. Zahn and R. Z. Roskies: IEEE Transactions on Computers, Vol. C-21, No. 3, March 1972に記載される方法に基づいた。

【0073】

【数14】

$$\left. \begin{aligned} \mu_0 &= \pi - \frac{1}{L} \sum_{k=1}^m l_k \Delta \phi_k \\ a_n &= \frac{-1}{n\pi} \sum_{k=1}^m \Delta \phi_k \sin \frac{2\pi n l_k}{L} \\ b_n &= \frac{1}{n\pi} \sum_{k=1}^m \Delta \phi_k \cos \frac{2\pi n l_k}{L} \\ \alpha_n &= \tan^{-1} \left( \frac{a_n}{b_n} \right) \end{aligned} \right\} \quad \dots (17)$$

【0074】図10(a)、(b)に示すように、 $L$ は輪郭の全周長、 $l_k$ は輪郭の $k$ 番目のデータポイントまでの長さ、 $\Delta \phi_k$ は $k$ 番目と $(k+1)$ 番目のデータ点を結ぶ直線と、 $(k-1)$ 番目と $k$ 番目のデータ点を結ぶ直線のなす角であり、 $\mu_0$ はフーリエ級数の0次の級数、 $a_n$ 、 $b_n$ 、 $\alpha_n$ は $k$ 次フーリエ級数、 $\alpha_n$ は $k$ 次の成分の位相角である。

【0075】(ステップS404) 次いで、式(17)から算出されたフーリエ級数と位相角を記憶部109に格納する。そして、図9(b)に示すように、画像表示部110に、各次のフーリエ級数を棒グラフ431によ

って表示し、さらに表形式で画像表示部110に表示する。

【0076】(ステップS405) さらに、式(17)の級数のうち20次より低次の級数を用いて輪郭データを再構築する。そして、図9(c)に示すように、再構築された輪郭線422を画像表示部110に表示する。

【0077】(ステップS406) 次いで、画像表示部に表示されたフーリエ級数のうちもっとも大きな級数が $k=2$ のそれであることから、対象とする図形の輪郭が概略二回対称性をもつ図形で近似されることがわかるので、その主軸の方向を算出して、輪郭データの定量化を行う。

【0078】さらに、再構築された輪郭データ上でもっとも距離の長い二点を探索し、その長さや方位を得ると共に、 $x$ 方向・ $y$ 方向のパターン幅を算出し、これらの値を画像表示部に表示する。さらに、近似楕円の面積と周長を算出し、画像表示部110に出力する。またさらに、近似輪郭線の主軸方向、該主軸と該近似輪郭線との交点間の長さ、近似輪郭線と各エッジ点との残差平方和、近似輪郭線で囲まれる領域の面積と全エッジ点で囲まれる領域の面積の差分を求めても良い。

【0079】以上説明したように、取得された画像から前記パターンエッジ点の位置座標を複数抽出し、各エッジ点の位置座標からフーリエ級数を算出し、算出されたフーリエ級数を用いて、前記パターンを近似する近似輪郭線を生成することによって、従来定量化が困難であった高次のパターンの対称性の崩れを容易に定量化できるようになる。

【0080】また、該近似輪郭線に含まれる少なくとも一対の点間の距離、該一対の点間の方位と、近似輪郭線で囲まれる領域の面積と、近似輪郭線の長さ、近似輪郭線の主軸方向と、該主軸と該近似輪郭線との交点間の長さ、近似輪郭線と各エッジ点との残差平方和と、近似輪郭線で囲まれる領域の面積と全エッジ点で囲まれる領域の面積の差分のうち少なくとも一つを算出することによって、ノイズやラフネスに影響されないロバスト(robust)な計測が可能となる。

【0081】なお本実施形態においてはレジストパターンを用いたが、これはエッチング後、あるいは任意の工程において観察されたパターンの画像に対しても適用することが可能である。

【0082】本実施形態においてはフーリエ級数を求める際に単純な離散的フーリエ変換の計算を行なったが、本発明の適用範囲はこれに限定されることはない。たとえば抽出された輪郭データを一度、2のべき乗の数の等間隔なデータ点に変換し、その後FFT(高速フーリエ変換)による高速計算を行うことも可能である。

【0083】(第5の実施形態) 図11は、本発明の第5の実施形態に係るパターン評価方法の説明に用いるフローチャートである。

【0084】(ステップS501, S502) 半導体ウェハをSEMに搬入してからエッジ座標点列 $P_i(x_i, y_i)$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ;  $n$ はエッジ点の総数)を得るまでの手順は第1の実施形態と同様に行なった。

【0085】(ステップS503) 次いで、第4の実施形態で説明した方法を用いて、エッジ点列のフーリエ級数を求める。(ステップS504) 求められた20次までのフーリエ級数を用いて輪郭データを再構成する。そして、図12(a)に示すように、再構成された再構成曲線522を画像表示部110に表示する。

【0086】(ステップS505) 次いで、図12(b)に示すように、再構成した輪郭データ上の点と、対応するもとの輪郭データ上の点の間の距離を算出し、これを各点の残差とする。

【0087】(ステップS505<sub>1</sub>) 再構成された輪郭データの計算結果から、再構成曲線上の任意の点 $Q(X', Y')$ における法線 $l_Q$ の方程式を算出する。これを

$$l_Q: Y = a_Q X + b_Q \quad \dots(18)$$

とあらわすと、エッジ点 $P_i$ が $l_Q$ 上にある条件は、 $x_i, y_i$ が

$$l_Q: Y_i = a_Q x_i + b_Q \quad \dots(19)$$

を満たすことである。

【0088】(ステップS505<sub>2</sub>) そこで、図13に示すように、始点 $P_0$ から適当な刻みによって再構成曲線522上の点 $Q_1, Q_2, \dots, Q_i, \dots$ を作成する。

【0089】(ステップS505<sub>3</sub>) 次いで、それぞれの点 $Q_i$ にもっとも近接するエッジ点 $P_i$ を探索する。

【0090】(ステップS505<sub>4</sub>) 次いで、 $P_i$ と $Q_i$ の間に式(17)の関係が成立していれば、以下を計算する。

【0091】

$$e_i^2 = \overline{P_i Q_i}^2 \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad \dots(20)$$

【0092】(ステップS514) 次いで残差平方和

$$\sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n \overline{P_i Q_i}^2 \quad \dots(21)$$

を算出する。

【0093】最後に残差平方和から標準偏差を算出してその値をパターンノイズの大きさと定義し、画像表示部110に表示する。また、再構成曲線と元の輪郭データの差に相当する部分を画像表示部上で塗りつぶし、

平滑化された再構成曲線から輪郭データが大きく外れている部分が一目で認識できるようにする。

【0094】(第6の実施形態) 本実施形態では、求められたフーリエ級数を主成分の評価を行った後に、フーリエ級数から輪郭線を求める方法について説明する。

【0095】まず、第1の実施形態と同様に、半導体ウェハをSEMに搬入してからエッジ座標点列 $P_i(x_i, y_i)$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ;  $n$ はエッジ点の総数)を得る。

【0096】次いで、第4の実施形態で説明した方法を用いて、エッジ点列のフーリエ級数を求める。求められた20次までのフーリエ級数を用いて輪郭データを構成する。図14(a)に示すように、構成された輪郭データを、輪郭線622をとして画像表示部110に表示する。

【0097】次いで、式(17)から算出されるフーリエ級数と位相を記憶部109に格納する。また、図14(b)に示すように、画像表示部110に次数別にフーリエ級数を棒グラフ631によって表示し、さらに表形式で画像表示部110上に表示する。

【0098】次いでフーリエ級数の0次の項の成分が主成分であることから、このパターンエッジが真円であるとして1次の級数のみを用いて、パターン形状を再構成する。そして、図14(c)に示すように、再構成曲線623として画像表示部110に表示する。

【0099】(ステップS606) 次いで、再構成曲線623上の点と、対応するもとの輪郭上の点の距離を残差として残差平方和を算出し、これが最小となるように決定された倍率補正係数をフーリエ級数に乘じる。

【0100】(ステップS607) 次いで、残差平方和が最小となる倍率補正係数を乗じた0次の項のフーリエ級数を用いてパターン形状を近似する曲線を求める。図14(d)に示すように、求められた曲線624として画像表示部110に表示する。また、曲線624と輪郭データ621の差に相当する部分を塗りつぶし、真円から輪郭データが大きく外れている部分が一目で認識できるようにする。また、曲線(円)624の直径を算出して、もとのパターンの直径の測定値として画像表示部110上に表示するとともに、残差平方和を画像表示部110上に表示する。

【0101】(第7の実施形態) 本実施形態では、設計上4回の回転対称性よりも高次の対称性を持たない輪郭を有するパターンに対して、有効なパターン評価方法を示す。

【0102】まず、第1の実施形態と同様な手順により、半導体ウェハをSEMに搬入してからエッジ座標点列 $P_i(x_i, y_i)$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ;  $n$ はエッジ点の総数)を得る。図15(a)に示すように、得られたエッジ点列721は、画像表示部110に表示される。このパターンは、角の丸まった隅略矩形の輪郭を持

つパターンであった。

【0103】次いで、エッジ数列に対してフーリエ解析を行って、式(17)で定義されるフーリエ級数と位相を算出する。そして、算出結果を記憶部109に格納すると共に、図15(b)に示すように、画像表示部110にフーリエ級数の各次数を棒グラフ731及び表形式で表示する。

【0104】次いで、得られたフーリエ級数のうち0次、2次、4次の級数のみを用いて輪郭を再構成した再構成曲線を生成する。再構成された輪郭上の点と、対応するもとの輪郭上の点の距離を残差として残差平方和を算出し、これが最小となるようにフーリエ級数に倍率補正係数を決定する。そして、図15(c)に示すように、倍率補正係数を乗じたフーリエ級数を用いて構成された再構成曲線722を画像表示部110に表示する。次いで、図15(d)に示すように、エッジ点列721と再構成曲線722とから、相対する辺間の距離に相当する距離732と、再構成曲線722で囲まれる領域の面積を算出して、基のパターンの直径の測定値として画像表示部110上に表示するとともに、残差平方和も画像表示部110上に表示する。また再構成曲線722ともとのエッジ点列721の差に相当する部分を画像表示部上で塗りつぶし、設計上でパターン輪郭が持っていた本来の対称性から輪郭データが大きく外れている部分が一目で認識できるようにした。

【0105】(第8の実施形態)本実施形態では、設計上パターン輪郭が奇数次の対称性を持たないようなパターンに対して有用な実施形態を示す。まず半導体製造に用いられるフォトマスク(原板)をSEMに搬入してからエッジ座標点列 $P_i(x_i, y_i)$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ;  $n$ はエッジ点の総数)を得た。そして、図16(a)に示すように、得られたエッジ点列821を画像表示部110に表示する。エッジ点列を得たパターンは、4つの角にリソグラフィ工程で角が丸まる光近接効果を補正するOPCパターンが付与されたパターンであった。

【0106】次いで、第1の実施形態と同様に式(17)から算出されるフーリエ級数と位相を求め、求められた結果を記憶部109に格納する。そして、図16(b)に示すように、画像表示部110にフーリエ級数を次数別に棒グラフ831によって表示し、さらに表形式で表示する。

【0107】次いで、フーリエ級数のうち奇数次の級数を全て無視し、偶数次のフーリエ級数のみを用いて輪郭を再構成した再構成曲線を生成する。そして、図16(c)に示すように、再構成曲線822を画像表示部110に表示する。再構成曲線を生成する際、再構成曲線上の点と、OPCパターンを付与する前の段階の設計データの輪郭データの直線部が一致するようにフーリエ級数に倍率補正係数を乗じた。

【0108】より具体的には、再構成曲線上の点と、対応する設計データ上の点の間の距離を残差として、次いでフーリエ級数列の4次および8次の成分の位相角 $\alpha_4$ と $\alpha_8$ の値から、パターンの角の方位を算出し、それと $\pi/8$ ラジアンの方角をなす方向に対して重み付けした残差平方和を算出し、これが最小となるように倍率補正係数を決定する。

【0109】このようにして算出した再構成曲線と設計データの輪郭とをもとの画像とともに画像表示部に表示する。また、設計データの輪郭と再構成曲線との差に相当する部分を塗りつぶし、OPC部分の大きさを一目で認識できるようにした。さらに塗りつぶした領域の面積を4つの領域の個々に対して算出する。

【0110】(第9の実施形態)本実施形態では、基準となるパターン輪郭と検査対象パターンの輪郭の対称性の差異を知って形状不良の判定に適用した例である。図17は、本発明の第9の実施形態に係るパターン評価方法の説明に用いるフローチャートである。

(ステップS901) まず、図18(a)に示す基準となるパターンの輪郭データから抽出されたエッジ点列921を与える。このエッジ点列は既に取得されたパターン画像の内、不良が無いと判定されたパターンのエッジ点列である。このエッジ点列に対してフーリエ解析を行って、式(17)に定義されたフーリエ級数を算出し、結果を記憶部109に蓄えたと共に、棒グラフ931として表示する。

【0111】(ステップS902) 次いで、検査対象となるパターンが形成された複数の半導体ウェハを順次SEMに搬入して、検査対象パターンの画像を取得する。取得されたそれぞれのパターン画像から、エッジ点列を取得した後、おのおののエッジ点列に対してフーリエ解析を行って、式(17)に定義されるフーリエ級数を50次まで算出する。

【0112】(ステップS903) 次いで、以下の式で定義されるベンローズ距離を個々のパターンに対して算出する。

【0113】

【数19】

$$\rho_{ij} = \sum_{k=1}^p \frac{(\mu_{ki} - \mu_{k0})^2}{pV_k} \quad \dots(22)$$

ここに、 $p=50$ であり、 $\mu_{ki}$ は1番目のパターンのフーリエ級数列であり、以下のように定義される

【数20】

$$\mu_{ki} = \begin{pmatrix} A_{1i} \\ A_{2i} \\ \vdots \\ A_{pi} \\ \alpha_{1i} \\ \alpha_{2i} \\ \vdots \\ \alpha_{pi} \end{pmatrix} \quad \dots (23)$$

また $\mu_{1i}$ は基準パターンのフーリエ級数を表す。

【0114】(ステップS904) 次いで、図18 (b) に示すように、各パターンのベンローズ距離をグラフ表示する。

【0115】(ステップS905) 次いで、図18 (c) に示すように、ベンローズ距離が著しく0と異なるパターンのエッジ点列923を基準パターンのエッジ点列921とともに画像表示部110に表示する。この結果、ベンローズ距離が0と大きく異なるパターンの輪郭が基準パターンと著しく異なっていることが目視で確認でき、ベンローズ距離によって不良パターンが自動判定されたことを確認できた。

【0116】本実施形態ではフーリエ級数の次数を50次まで扱ったがもちろんこれは本発明の適用範囲を限定する物ではない。またフーリエ級数列によって定義された空間内の距離としてベンローズ距離を採用したが、これも本発明の適用を限定するものではなく、たとえばユークリッド距離、マハラノビス距離等の多変量距離を採用する事ができる。特に高次の級数を用いる際にはマハラノビス距離を採用する事が好ましい。

【0117】本実施形態では基準パターンを過去に取得したパターン画像から人為的に選んでいたが、これも種々の変更が可能であり、たとえば複数のパターン画像から複数の輪郭データを取得してその加算平均を行なった平均の輪郭データを用いても良いし、設計データの輪郭を用いても良いし、あるいは人間が作図した輪郭データを用いても良い。

【0118】不良パターンの検出にはグラフィカルな表示に基づいて他のパターンの系列から外れたものを人為的に選んだが、これは距離が0と有意に異なるかどうかの有意差検定を行なって有意と判定されたものを欠陥と定義する事によって自動判断が可能となり人為を介さずにすむ。

【0119】(第10の実施形態) 図19は、本発明の第10の実施形態に係わるパターン評価方法の説明に用いるフローチャートである。

【0120】(ステップS1001) 先ず、第8の実施形態と同様に、フォトマスク(原板)に形成されたパターンからエッジ点列を取得する。そして、図20(a) に示すように、取得したエッジ点列1021を画像表示部110に表示する。

【0121】(ステップS1002) 次いで、取得され

たエッジ点列に対してフーリエ解析を行って、式(17)にもとづくフーリエ級数を算出する。図20(b) に示すように、算出されたフーリエ級数を次数別に棒グラフ1031として画像表示部110に表示する。

【0122】(ステップS1003) 次に、上記のフォトマスクをもちいて投影露光装置を用いてウェハ上にパターンを転写し、そのウェハをSEMに搬入してフォトマスクに対応するパターンのエッジ点列を取得する。そして、図20(c) に示すように、取得したエッジ点列1022を画像表示部110に表示する。

【0123】(ステップS1004) 次いで、その輪郭データに対してフーリエ解析を行って、式(17)に基づくフーリエ級数を算出する。そして、図20(d) に示すように、算出されたフーリエ級数を次数別に棒グラフ1032として画像表示部110に表示する。

【0124】(ステップS1005) 次いで、二つの級数の差を項別に算出する。そして、図20(e) に示すように、算出結果1033を画像表示部に表示する。級数の差を算出した結果、パターンの長さが転写後に短くなったことにより2次の級数が小さくなっていること、パターン角部が丸まったことにより4次の級数が小さくなったこと、20〜30次の級数が増大した事からウェハ上のパターンでラフネスが増大した事などをグラフィカルに確認する事が可能となった。

【0125】このような処理に、第9の実施形態で詳述したような多変量距離の算出を組み合わせる事もできる。すなわち、対象とするウェハ上パターンと、マスクパターンに上記の写像を施した輪郭との多変量距離をもとめ、それが大きかった場合にフーリエ級数の差を算出すれば、リソグラフィ工程によってどのような対称性が崩れたかを知ることが出来る。

【0126】(第11の実施形態) 図21は、本発明の第11の実施形態に係わるパターン評価方法の説明に用いるフローチャートである。

【0127】あらかじめ、フォトマスクパターンの長さやパターンの角がパターン転写後にどのように変化するかを実験により調べておき、それらをテーブルとして記憶装置に保存しておく。

【0128】(ステップS1101) 第8の実施形態と同様の手順でフォトマスクに形成されたパターンのエッジ点列を取得する。得られたエッジ点列を画像表示部に表示する。

【0129】(ステップS1102) 取得された輪郭データから上記のテーブルにもとづいて写像変換を行ない、あらたなエッジ点列を作成する。変換後のエッジ点列を画像表示部に表示する。

【0130】(ステップS1103) 次いで、変換後のエッジ点列に対してフーリエ解析を行って、フーリエ級数を算出する。算出されたフーリエ級数を画像表示部に表示すると共に、記憶部109に記憶させる。

【0131】(ステップS1104)次いで、前記フォトマスクに形成されたパターンを転写されたウェハをSEMで観察して画像を取得し、画像からエッジ点列を取得する。取得されたエッジ点列を画像表示部に表示する。

【0132】(ステップS1105)そして、取得されたエッジ点列に対してフーリエ解析を行って、フーリエ級数を算出する。算出されたフーリエ級数を画像表示部に表示すると共に、記憶部109に記憶させる。

【0133】(ステップS1106)フォトマスクから得られたフーリエ級数とウェハ上のパターンから得られたフーリエ級数に対して、次数別に差を算出する。そして、算出結果を画像表示部に表示する。

【0134】本実施形態では写像を行なうためのデータを実験によりあらかじめ取得しておいたが、たとえばマスクパターンから直接光学像をモニタする検査装置をもちいて取得した光学像データをもちいて、直接写像後の輪郭を取得する事も可能である。

【0135】(第12の実施形態)図22は、本発明の第12の実施形態に係るパターン評価方法の説明に用いるフローチャートである。

【0136】(ステップS1201)まず第10の実施形態と同様の手順で抽出したフォトマスクパターンのエッジ点列の座標を得る。

【0137】(ステップS1202)得られたエッジ点列の座標を用いて、投影光学系に収差が存在しないというモデルにもとづく光リソグラフィシミュレーションを行ない、光学像にもとづく輪郭を作成する。

【0138】(ステップS1203)次いで、シミュレーションによって作成した輪郭に対してフーリエ解析を行って、フーリエ級数を算出する。

【0139】(ステップS1204)次いで転写後のウェハをSEMで観察し、第10の実施形態と同様にウェハ上のパターンのエッジ点列の位置座標を得る。

【0140】(ステップS1205)得られたエッジ点列の位置座標に対してフーリエ解析を行って、フーリエ級数を算出する。

【0141】(ステップS1206)二つのフーリエ級数に対して、各次数におけるフーリエ級数の差を級数の差を算出する。算出結果を画像表示部110に表示すると共に、記憶部109に保存する。

【0142】算出の結果、差の出た成分は2次および3次の成分であった。このことから、転写後のパターンはレジストプロセスの影響で長さが短くなっていること、及び露光装置に3θとよばれる高次収差が存在していることが判明した。

【0143】本実施形態は、光学像シミュレーションを行なう代わりにレジスト中の潜像シミュレーションを行い、潜像に基づいて輪郭を作成しても良い。潜像から輪郭を作製することによって、光学シミュレーションから

正確に分らない、ショートニングの効果がより高精度に評価できるようになる。

【0144】(第13の実施形態)本実施形態は、検査装置の検査レシピを作成する際に位置決め基準となるテンプレートをフーリエ記述子によって作成する方法について説明する。

【0145】ここでは検査装置として測長SEMを用いた。

【0146】図23は、本発明の第13の実施形態に係るパターン評価方法の説明に用いるフローチャートである。

【0147】(ステップS1301)まず測長SEMに検査対象パターンが形成されたウェハを搬入し、位置決めの際の基準画像とするためのパターン(基準パターン)の画像を取得する。図24(a)に、取得された基準パターンの例を示す。

【0148】(ステップS1302)次いで、基準パターンの画像からエッジ点列の位置座標を取得し、取得された位置座標に対してフーリエ解析を行って、式(17)で定義されるフーリエ級数を求める。

【0149】(ステップS1303)次いで、そのフーリエ級数の10次の項までを用いて輪郭データを生成する。図24(b)に示すように、生成された輪郭線は、画像表示部110に表示されると共に、画像データとして記憶部109に格納される。

【0150】(ステップS1304)次に、検査対象となるパターンのある概略位置に移動し、その位置においてSEM画像を取得する。図24(c)に、取得された検査対象パターンの例を示す。

【0151】(ステップS1305)次いで、検査対象パターンの画像に二次元Sobelフィルタ処理を施し、さらに二値化処理を施す。図24(d)に、二値化処理された画像データの例を示す。

【0152】(ステップS1306)次いで、二値化処理された画像(図24(d))と輪郭データ(図24(b))との二次元相関係数が最大となる相対位置を検索し、位置決めを行う(図24(e))。

【0153】これによって、テンプレートに用いた基準画像が、パターン形成プロセスによって変形していても、正規の形状にもとづく輪郭情報に基づいた基準輪郭を作成できるため、パターン検出のエラーが激減する。

【0154】(第14の実施形態)図25は、本発明の第14の実施形態に係るパターン評価方法の説明に用いるフローチャートである。

【0155】(ステップS1401)まず、あらかじめその輪郭形状が真円との差異が極めて小さいことが確認されているパターンが形成されたウェハをSEMに搬入する。そして、SEMで上記パターンの画像を取得し、その輪郭を抽出する。図26(a)に、取得されたパタ

ーン画像1421を画像表示部110に表示した例を示す。

【0156】(ステップS1402)取得された画像からエッジ点列の位置座標を取得し、取得されたエッジ点列に対してフーリエ解析を行って、フーリエ級数を算出する。算出されたフーリエ級数は、図26(b)に示すように、エッジ点列1422と共に、棒グラフ1431として画像表示部110に表示する。

【0157】(ステップS1403)次いで、本来のパターンの級数列とSEMで取得されたエッジ点列の級数列とを比較する。比較の結果、2次の項が大きい結果となった。

【0158】(ステップS1404)そこで、比較の結果、2次の項が大きかったので、SEMの電子光学系の非点収差を調整する。非点収差の調整後、再度、パターンの画像を取得したところ、図26(c)に示すように、パターン1423の形状はほぼ真円に近かった。また、再度取得されたパターン画像の輪郭からフーリエ級数を算出した結果、ほぼ真円の輪郭と同様の級数列となっていた。

【0159】ここで基準パターンとして真円状のパターンを用いたが、本発明はこれに限定されず、使用者は画像調整に都合の良い任意の形状によって同様の実施を行なう事ができる。

【0160】(第15の実施形態)まず、レンズ収差の無い露光装置で転写した場合にはウェハ上に真円が転写されるようなパターンを描載したマスクを用いて、実際の露光装置でウェハ上にパターン転写を行う。

【0161】次いで、ウェハ上に転写されたパターンをSEMで観察して、画像データを取得する。図27(a)に、画像表示部110に表示されたパターンの画像1521の例を示す。なお、このSEM観察を行う前に、第14の実施形態で説明した方法を用いてSEMの電子光学系の調整を行っておくことが好ましい。

【0162】次いで、その画像のエッジ点列の位置座標を抽出し、抽出されたエッジ点列に対してフーリエ解析を行って、式(17)にもとづく10次までのフーリエ級数を算出する。図27(b)に示すように、画像表示部に抽出されたエッジ点列1522と共に、算出されたフーリエ級数を係数毎に棒グラフ1531を表示する。

【0163】算出の結果、2次の項が大きいことが判明したため、露光装置のレンズ調整を行なう。調整後、再度パターン露光を行なってSEM画像を取得したところ、図27(c)に示すように、パターン1523の形状は、ほぼ真円に近かった。また、再度取得されたパターン画像の輪郭からフーリエ級数を算出した結果、級数列はほぼ真円であることを示す値となっていた。

(第16の実施形態)製造ラインでホールパターンのSEM測長を従来の技術によって行なう際に、同時に画像データを処理してフーリエ級数を取得する。測長の機会

のたびに、フーリエ級数を取得し、継続的に推移データとして取得する。図28にフーリエ級数の各次数の変位を示す。図28(a)は1次の級数の推移データ、図28(b)は2次の級数の推移データ、図28(c)は3次の級数の推移データ、図28(d)は4次の級数の推移データを示している。なお、図28の横軸の単位は日数である。

【0164】その結果、図28(c)に示すように、3次の級数がある期日を境に増大していることがわかったので、露光装置のライン稼働を一時停止し、露光装置のレンズ調整をおこなった。この手順は第15の実施形態と同様におこなった。

【0165】光学系の調整後、露光装置のライン稼働を再開し、上記の推移データを再び取得する。2次以上の級数列は安定して低い値におさまられていることがわかった。

【0166】なお、本発明は、上記実施形態に限定されるものではない。例えば、パターン画像を表示する画像表示部および、画像データと、パターンエッジを抽出するプログラムと、そのエッジ座標データと、プログラムと、算出された諸量のデータと、算出された諸量のうちの少なくとも一つを画像表示部に表示するかまたは任意の出力装置に出力するプログラムとを格納した記憶装置は、必ずしも計測装置本体の一部である必要が無い。すなわちこれらの装置構成部分の少なくともひとつが外部サーバーやスタンドアロンのコンピュータなどに搭載されていても良く、SEMからパターン画像データをそれら外部サーバーやスタンドアロンのコンピュータなどに出力し、画像表示および結果表示、諸量の算出および記憶をSEM本体以外の装置によっておこなうことも本発明の請求範囲に含まれる。

【0167】その他、本発明は、その要旨を逸脱しない範囲で、種々変形して実施することが可能である。

【0168】

【発明の効果】以上説明したように本発明によれば、取得された画像から前記パターンのエッジ点の位置座標を複数抽出し、各エッジ点の位置座標から、最小二乗法によって前記エッジ点列を楕円に近似することによって、近似された楕円の中心座標、長軸の方向、長半径、短半径、短半径と長半径との比、面積、及び周囲長を算出することができる。その結果、パターンが、完全に水平または垂直方向に配置していない場合、やパターンのエッジにラフネスがある場合でも、正確なホールパターンの歪みの定量が可能となり、評価コストが減少する。

【0169】以上説明したように別の本発明によれば、取得された画像から前記パターンのエッジ点の位置座標を複数抽出し、各エッジ点の位置座標からフーリエ級数を算出し、算出されたフーリエ級数を用いて、前記パターンを近似する近似輪郭線を生成することによって、従来定量化が困難であったパターンの対称性の崩れを容易

に定量化できるようになる。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1の実施形態に係わるパターン評価装置の概略構成を示すブロック図。

【図2】第1の実施形態に係わるパターン評価方法を示すフローチャート。

【図3】第1の実施形態に係わる、図1に示すパターン評価装置の画像表示部に表示される画像を示す図。

【図4】第2の実施形態に係わるパターン評価方法を示すフローチャート。

【図5】第2の実施形態に係わる、画像表示部に表示される画像を示す図。

【図6】第3の実施形態に係わるパターン評価方法を示すフローチャート。

【図7】第3の実施形態に係わるパターン評価方法の説明に用いる図。

【図8】第4の実施形態に係わるパターン評価方法を示すフローチャート。

【図9】第4の実施形態に係わる、画像表示部に表示される画像を示す図。

【図10】第4の実施形態に係わるパターン評価方法の説明に用いる図。

【図11】第5の実施形態に係わるパターン評価方法の説明に用いるフローチャート。

【図12】第5の実施形態に係わる、画像表示部に表示される画像を示す図。

【図13】第5の実施形態に係わるパターン評価方法の説明に用いる図。

【図14】第6の実施形態に係わる、画像表示部に表示される画像を示す図。

【図15】第7の実施形態に係わる、画像表示部に表示される画像を示す図。

【図16】第8の実施形態に係わる、画像表示部に表示される画像を示す図。

【図17】第9の実施形態に係わるパターン評価方法の

説明に用いるフローチャート。

【図18】第9の実施形態に係わる、画像表示部に表示される画像を示す図。

【図19】第10の実施形態に係わるパターン評価方法の説明に用いるフローチャート。

【図20】第10の実施形態に係わる、画像表示部に表示される画像を示す図。

【図21】第11の実施形態に係わるパターン評価方法の説明に用いるフローチャート。

【図22】第12の実施形態に係わるパターン評価方法の説明に用いるフローチャート。

【図23】第13の実施形態に係わるパターン評価方法の説明に用いるフローチャート。

【図24】第13の実施形態に係わる、画像表示部に表示される画像を示す図。

【図25】第14の実施形態に係わるパターン評価方法の説明に用いるフローチャート。

【図26】第14の実施形態に係わる、画像表示部に表示される画像を示す図。

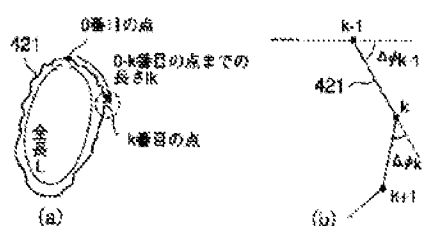
【図27】第15の実施形態に係わる、画像表示部に表示される画像を示す図。

【図28】第16の実施形態に係わる、フーリエ級数の各次数の変位を示す図。

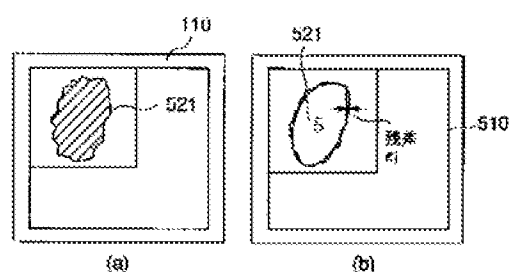
【符号の説明】

101…電子銃  
102…電子光学系  
103…半導体ウェハ  
104…トレイ  
105…二次電子信号検出部  
106…信号増幅部  
107…制御部  
108…コンピュータ  
109…記憶部  
110…画像表示部

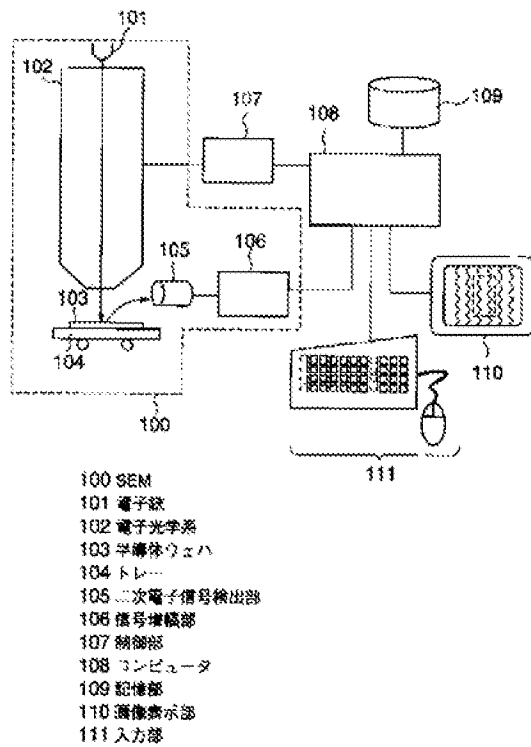
【図10】



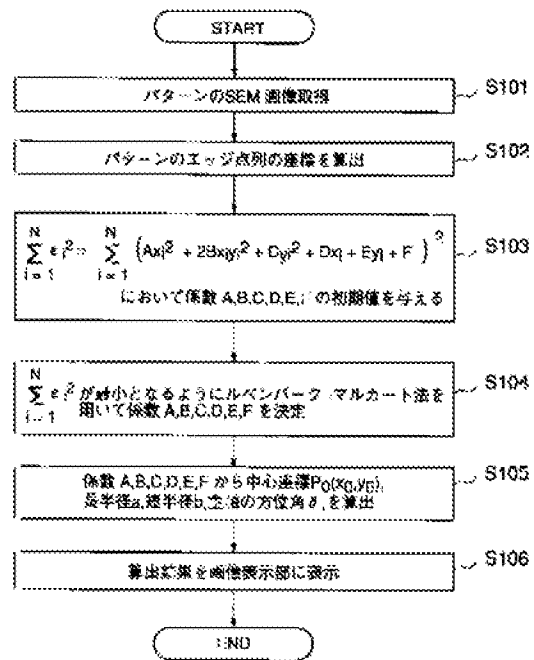
【図12】



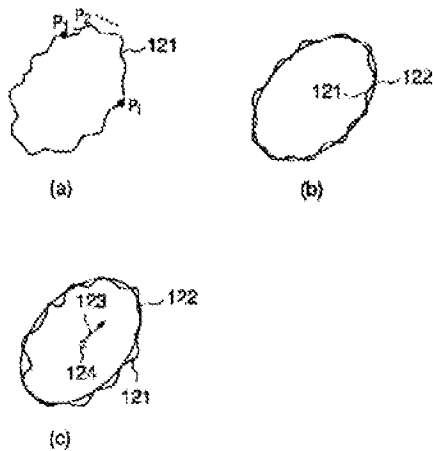
【図1】



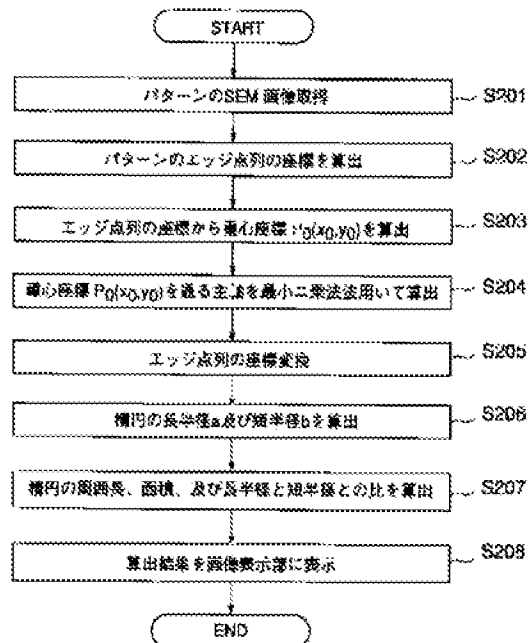
【図2】



【図3】

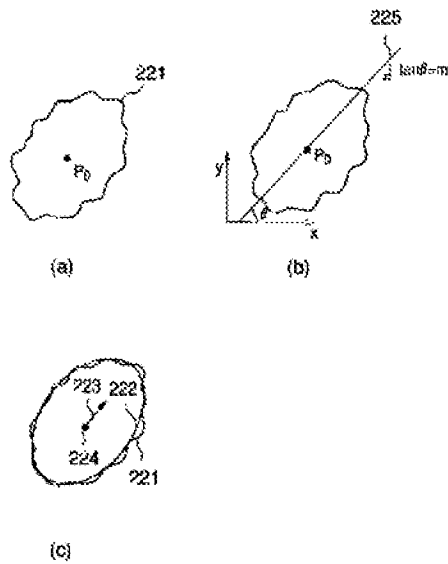


【図4】

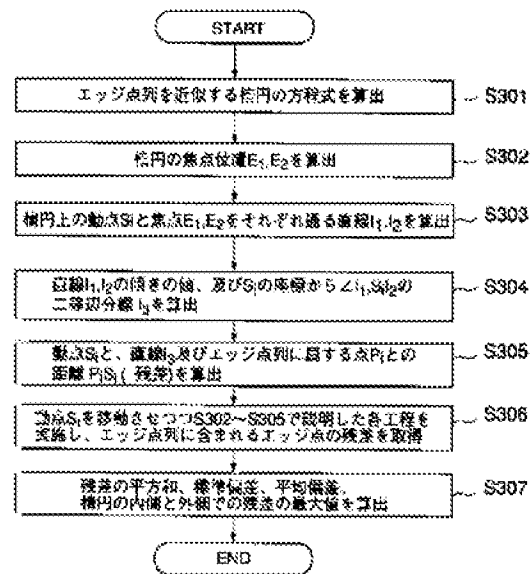




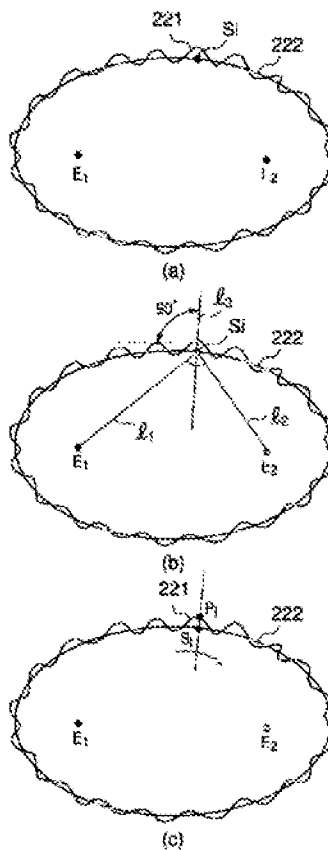
【図5】



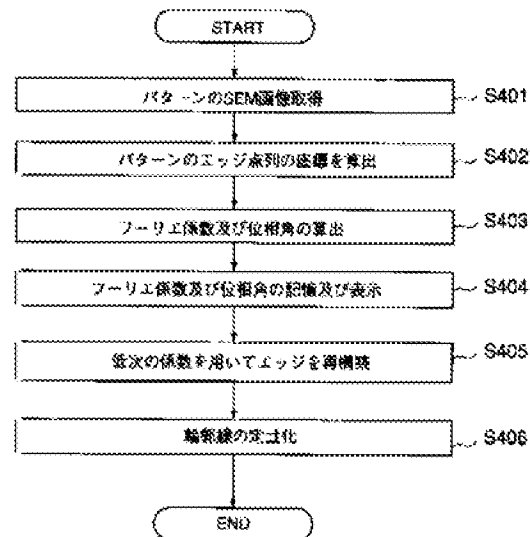
【図6】



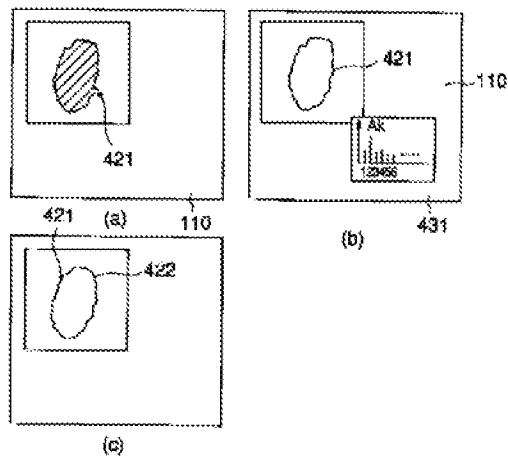
【図7】



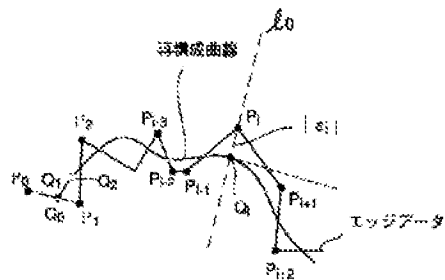
【図8】



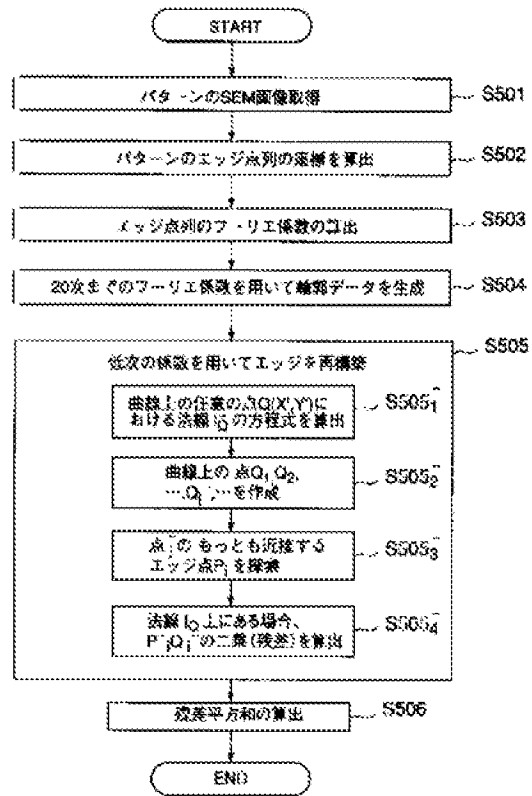
【図9】



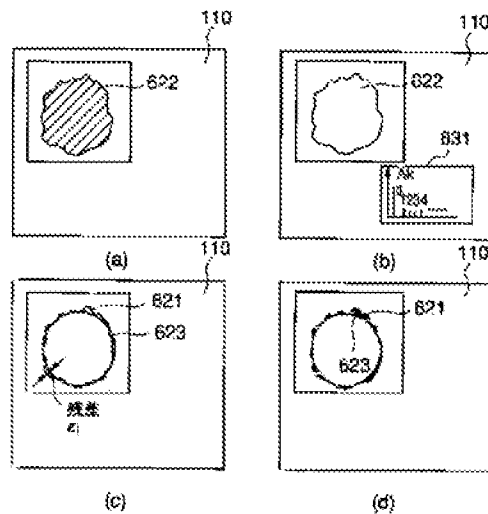
【図13】



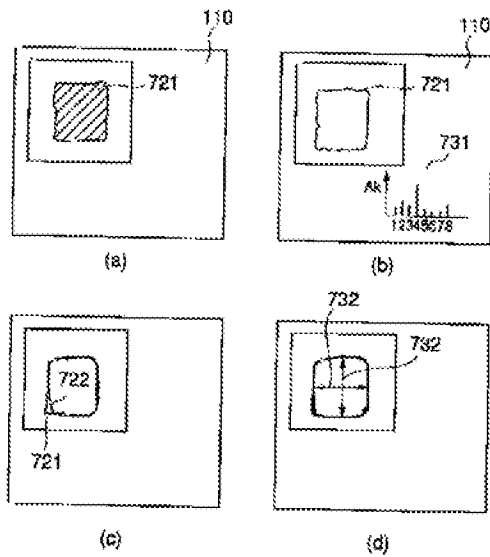
【図11】



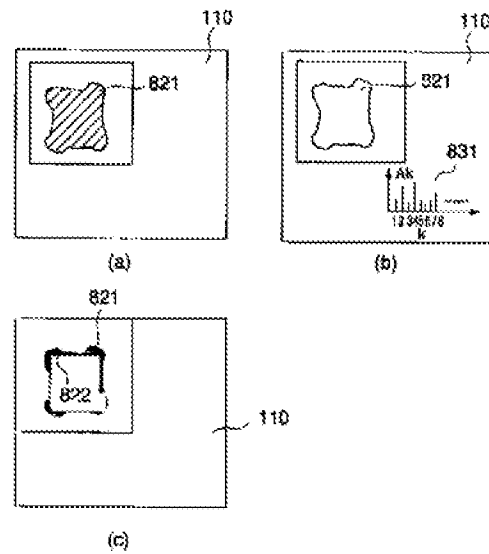
【図14】



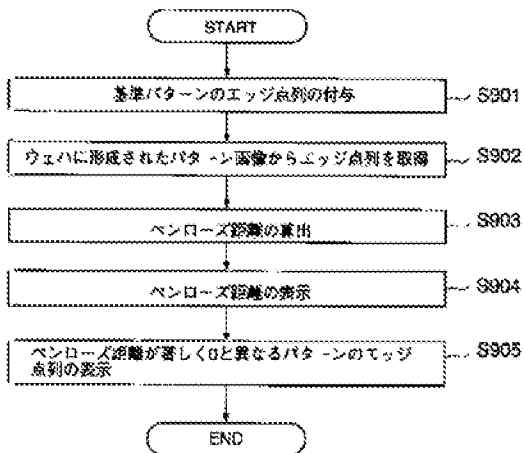
【図15】



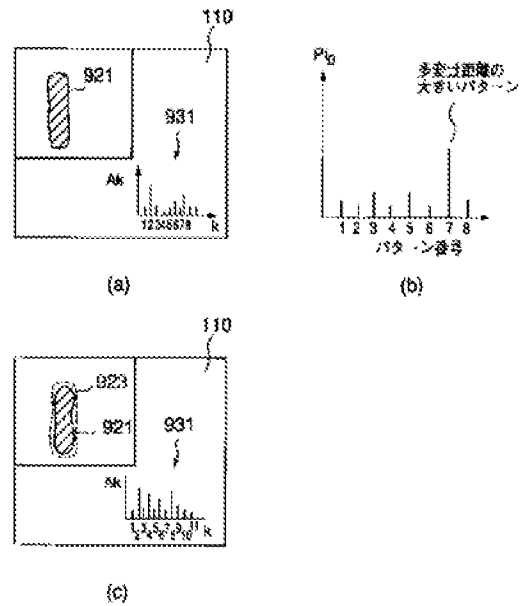
【図16】



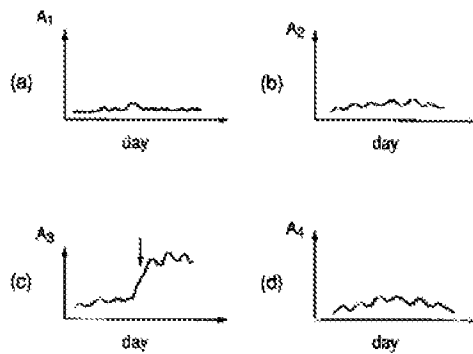
【図17】



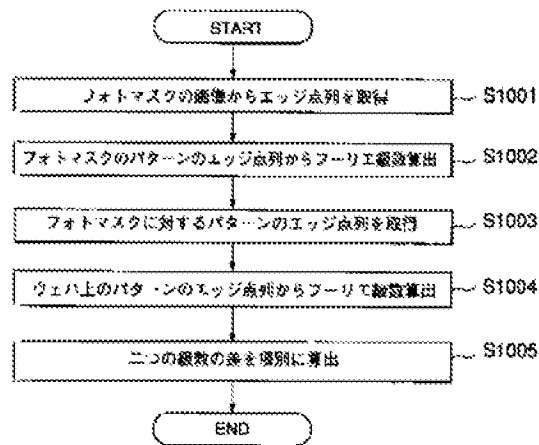
【図18】



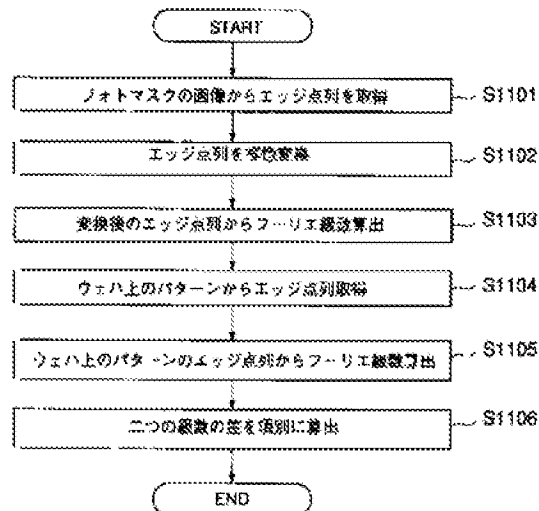
【図28】



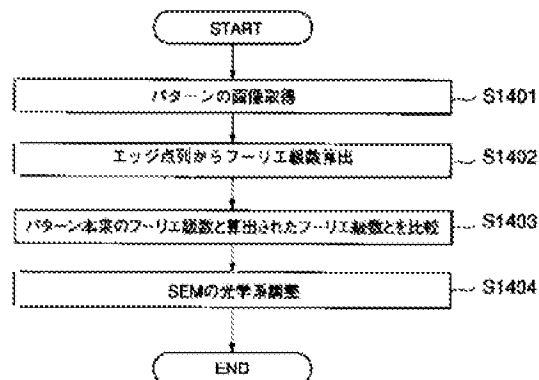
【図19】



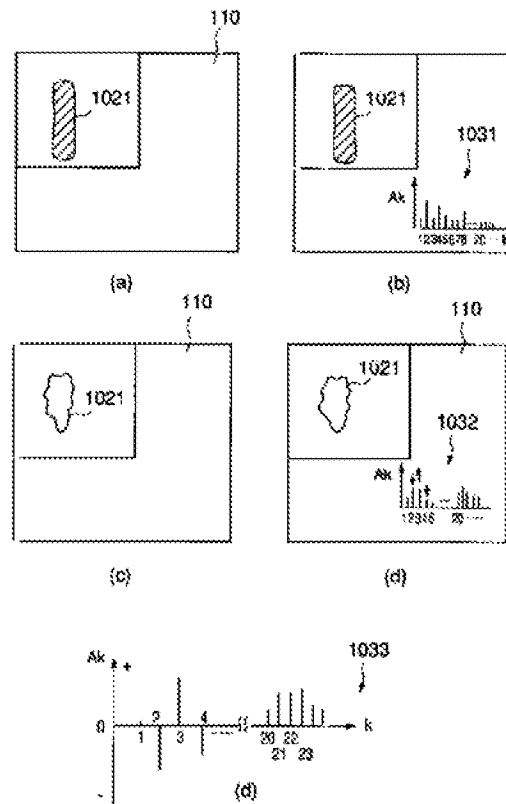
【図21】



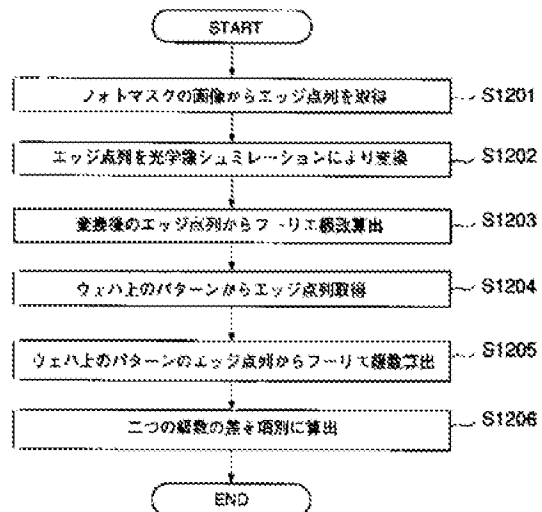
【図25】



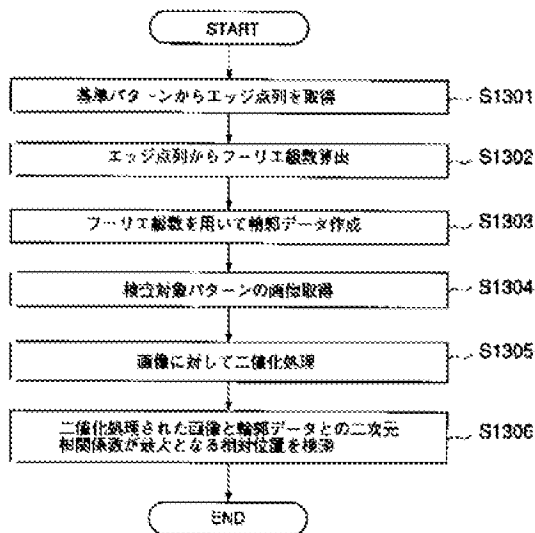
【図20】



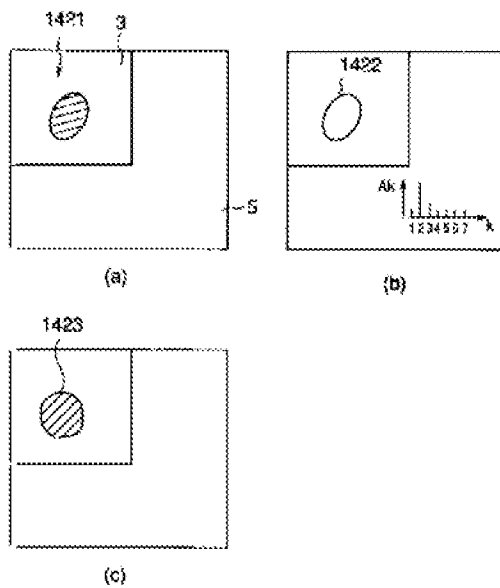
【図22】



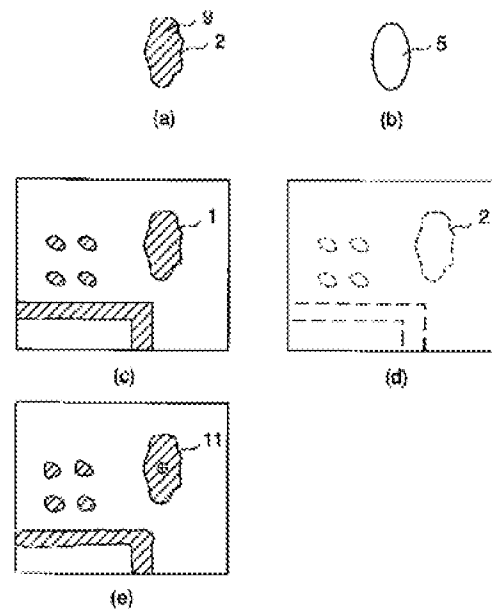
【図23】



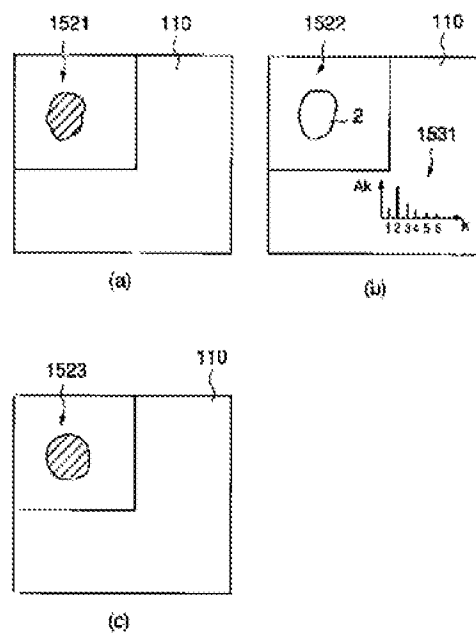
【図26】



【図24】



【図27】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 7

識別記号

F I  
H 01 L 21/30

516 A

(参考)

Fターム(参考) 2H095 BD02 BD24 BD26  
5B057 AA03 BA02 CA12 CA16 CE05  
CE05 DE03 DE06  
3F046 AA18 FA10 FC04  
5L096 BA03 CA02 FA32 FA33 FA64  
FA69 GA32